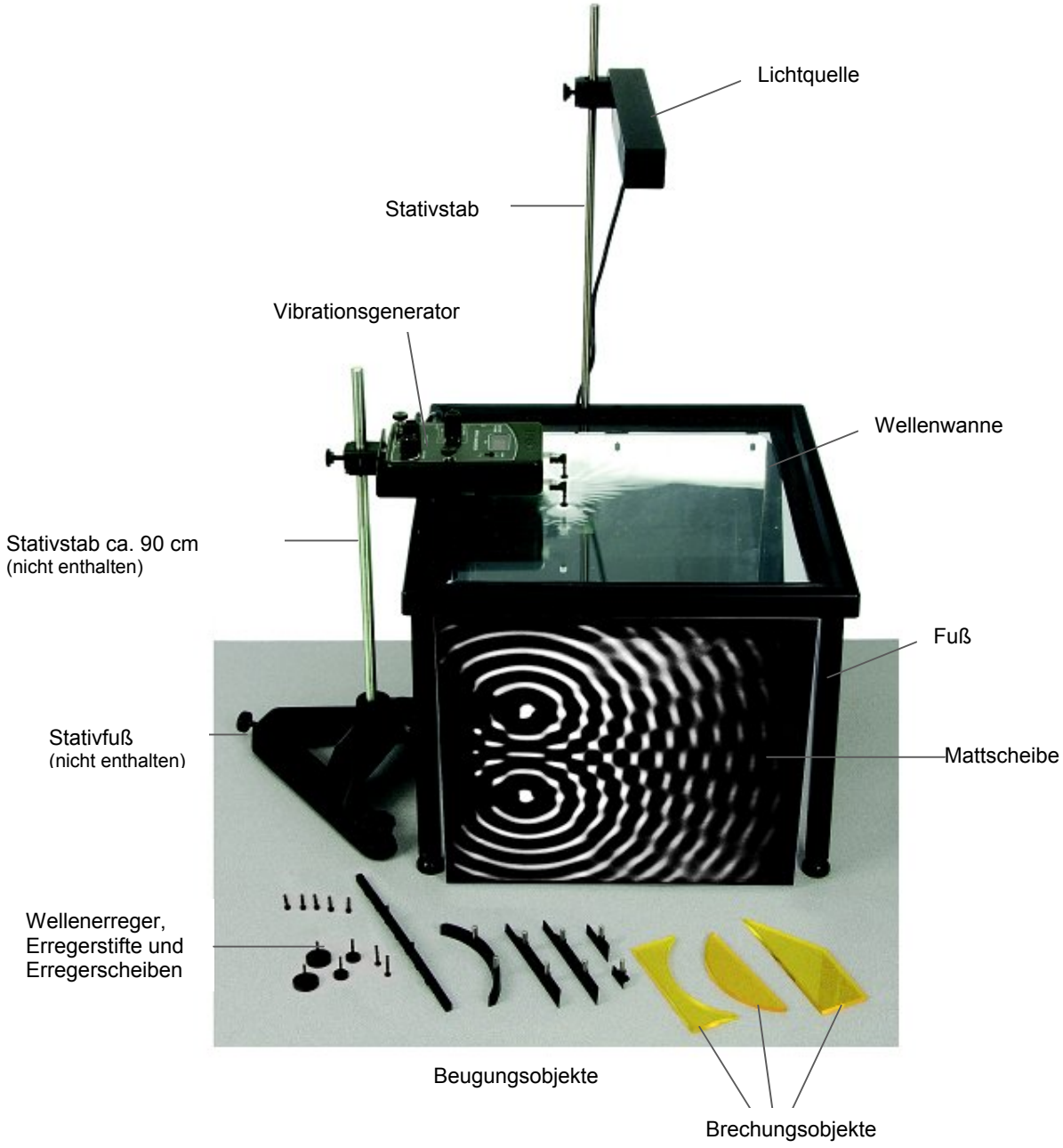
Große Wellenwanne mit LED-Stroboskop

Best.- Nr. 107.7054

Inhaltsverzeichnis

Große Wellenwanne mit LED-Stroboskop 1
Komponenten 2
Einleitung 3
Beschreibung des Geräts 4
Beschreibung der Versuche 12
Versuch 2: Brechung 17
Versuch 3: Beugung 21
Versuch 4: Interferenz 23
Versuch 5: Abbildung eines Objekts am Planspiegel 27
Versuch 6: Wellengeschwindigkeit 29
Dopplereffekt 31
Musterbeispiele 32

Komponenten



Im Lieferumfang enthalten, jedoch ohne Abbildung:

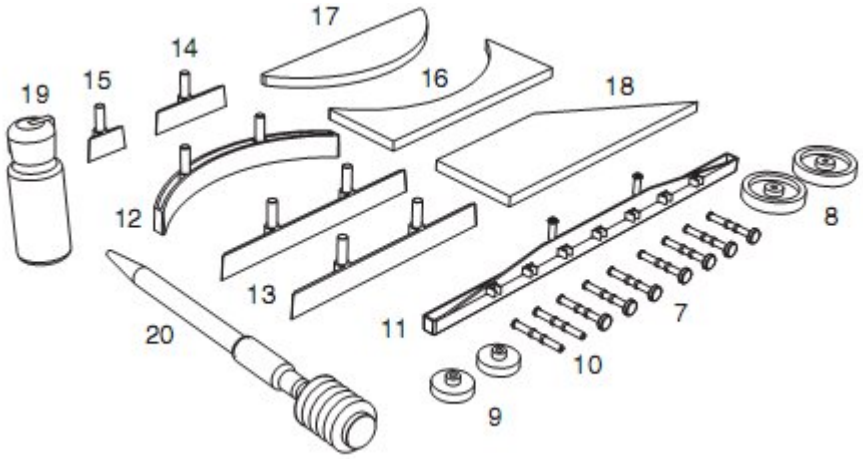
Plastikflasche mit Tensidlösung, 5 ml Pipette, Lineal, Aufbewahrungsbox aus Kunststoff, Becherglas, Netzadapter.

Einleitung

Das Wellenwannenset umfasst die Wellenwanne und den Vibrationsgenerator mit Lichtquelle. In der nachstehenden Tabelle werden die im Lieferumfang enthaltenen Komponenten aufgeführt. Hinweis: Der Große Stativfuß (Best.-Nr. 104.1513) und der Stativstab (z.B. 101.1014, Stativrohr 100 cm) in der obigen Abbildung sind nicht im Lieferumfang enthalten, werden jedoch als Zubehör empfohlen.

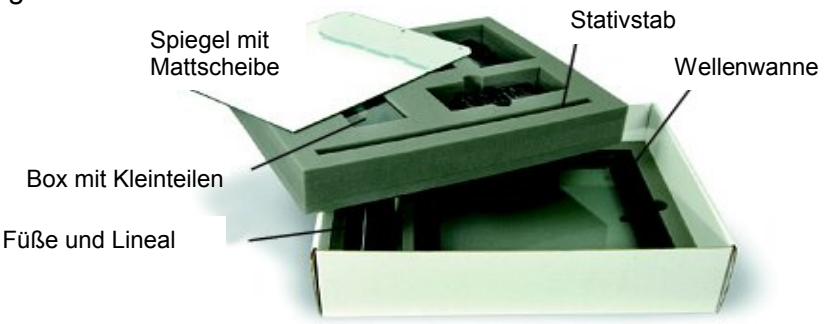
Die vorliegende Bedienungsanweisung enthält Beschreibungen und Anweisungen für sechs Versuche sowie Vorschläge für weitere Experimente.

Im Lieferumfang enthaltene Teile	Anzahl
1. Lichtquelle	1
2. Stativstab	1
3. Vibrationsgenerator	1
4. Wellenwanne	1
5. Umlenkspiegel mit Mattscheibe	1
6. Fuß	3
7. Punktförmiger Wellenerreger	7
8. Große Erregerscheibe	2
9. Kleine Erregerscheibe	2
10. Erregerstift	2
11. Erreger für ebene Wellen	1
12. Gekrümmter Reflektor	1
13. Langes Beugungsobjekt	2
14. Mittleres Beugungsobjekt	1
15. Kurzes Beugungsobjekt	1
16. Konkaves Brechungsobjekt	1
17. Konvexes Brechungsobjekt	1
18. Trapezförmiges Brechungsobjekt	1
19. Flasche mit Tensidlösung	1
20. Pipette, 5 ml	1
21. Lineal	1
22. Aufbewahrungsbox aus Kunststoff	1
23. Becherglas, 1000 ml	1
24. Netzadapter, 15 V DC, 1,6 A	1



Beschreibung des Geräts

Die Wellenwanne ist für den Einsatz mit dem PASCO Vibrationsgenerator mit Lichtquelle konzipiert. Die Wanne hat die Maße 42,5 cm x 42,5 cm x 2,5 cm und besteht aus einer mit vier abgeschrägten Schaumstoffstreifen eingefassten, 0,3 cm dicken Glasplatte. Die nutzbare Fläche hat die Maße 33 cm x 33 cm. Die Wellenwanne verfügt über einen leicht zu handhabenden Ablauf bestehend aus einem Vinylschlauch und einer Schlauchklemme. Die Wanne steht auf drei abnehmbaren Füßen mit Nivellierschrauben und wird durch einen Umlenkspiegel und eine Mattscheibe ergänzt.

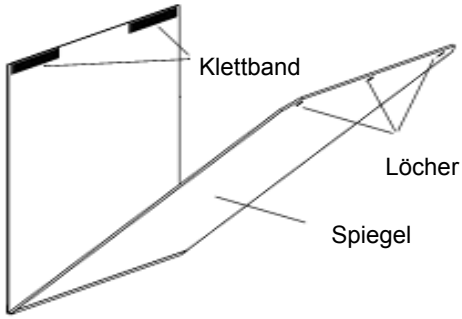


Folgende Komponenten sind zudem im Lieferumfang der Wellenwanne enthalten: Lineal, Pipette, Flasche mit Tensidlösung, Aufbewahrungsbox, Beugungsobjekte (5 Stück), Brechungsobjekte (3 Stück), 1 Becherglas und ein Stativstab, an dem die Lichtquelle befestigt wird.

Der Karton, in dem die Wellenwanne aufbewahrt wird, hat zwei Lagen. In der oberen Lage befinden sich der Umlenkspiegel mit der Mattscheibe, die Aufbewahrungsbox aus Kunststoff, der Stativstab und das Becherglas; in der unteren Lage befinden sich das Lineal, die Füße und die

Wellenwanne. In der oberen Lage ist Platz für den WA-9896 Vibrationsgenerator mit Lichtquelle sowie den Netzadapter und das Anschlusskabel.

Umlenkspiegel mit Mattscheibe: Umlenkspiegel und Mattscheibe sind an einer Kante durch ein biegsames Band miteinander verbunden. Hinweis: Vor dem ersten Einsatz die Schutzfolie von Umlenkspiegel und Mattscheibe entfernen. Der Umlenkspiegel ist aus aluminiumbeschichtetem Acrylglas; die Mattscheibe aus durchscheinendem Kunststoff.



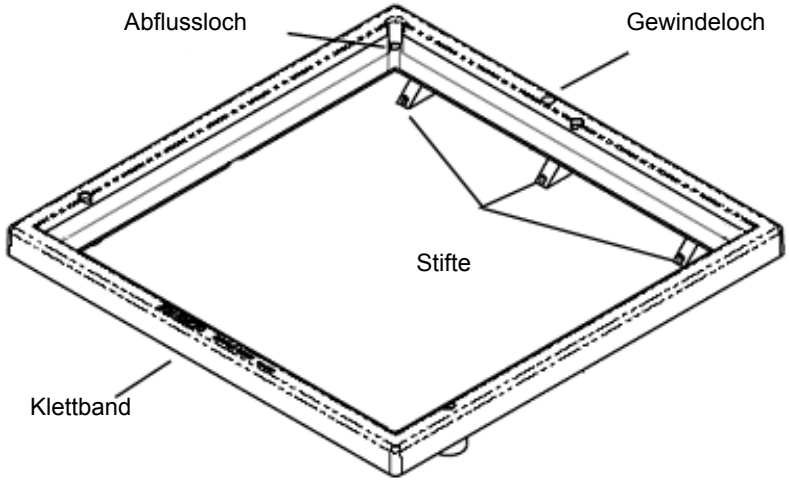
An der Oberkante des Umlenkspiegels befinden sich drei Löcher; an der Oberkante der Mattscheibe zwei Streifen Velcro®-Klettbandband.

Wellenwanne: Die Wellenwanne verfügt über einen schlagfesten Kunststoffrahmen. An der Unterseite der vorderen Rahmenleiste ist ein Streifen Velcro®-Hakenband befestigt, an den das Velcro®-Flauschband an der Oberkante der Mattscheibe geklettet wird. An der Unterseite der hinteren Rahmenleiste befinden sich drei Stifte, die in die Löcher an der Oberkante des Umlenkspiegels passen. Das Gewindeloch oben in der hinteren Rahmenleiste nimmt den zum Vibrationsgenerator mit Lichtquelle gehörenden Stativstab auf, an dem die Lichtquelle befestigt wird. Mit den vier abgeschrägten Schaumstoffstreifen werden die Wellen gedämpft, die ansonsten reflektiert und die primäre Welle und die Interferenzmuster stören würden. Die Schaumstoffstreifen sind austauschbar.

Der Ablauf der Wellenwanne besteht aus einem Vinylschlauch, der unterhalb des Abflusslochs in der hinteren Ecke der Wanne befestigt ist. Zum Verschließen des Schlauchs, die Seiten der Schlauchklemme zusammendrücken. Zum Lösen der Schlauchklemme Lasche nach unten ziehen.

Montage

Füße in die Gewindelöcher an der Unterseite [der seitlichen Rahmenleisten] nahe der vorderen beiden Ecken der Wellenwanne und in das Gewindeloch an der Unterseite in der Mitte der hinteren Rahmenleiste schrauben. Wellenwanne auf eine glatte, waagrechte Oberfläche stellen. Soll die Lichtquelle verwendet werden, so muss der Stativstab in das Gewindeloch an der Oberseite in der Mitte der hinteren Rahmenleiste geschraubt werden.



Umlenkspiegel und Mattscheibe auseinanderklappen und den Umlenkspiegel zwischen die beiden vorderen Füße setzen. Umlenkspiegel nach oben anwinkeln und die Oberkante des Spiegels nach hinten führen, so dass sich die drei Löcher an der Spiegeloberkante und die Stifte an der hinteren Innenseite der Wellenwanne ineinander fügen. Mattscheibe senkrecht stellen und das Velcro®-Flauschband der Mattscheibe an das Hakenband an der Unterseite der vorderen Rahmenleiste der Wanne festkletten.

Tensidlösung aufbringen: Vor dem erstmaligen Befüllen der Wellenwanne einen Tropfen Tensidlösung (nichtionisches Netzmittel) auf die Schaumstoffstreifen sowie auf die Beugungs- und die Brechungsobjekte aufbringen. Die Tensidlösung verringert die Oberflächenspannung des Wassers. Einen Tropfen Tensidlösung aus dem Plastikfläschchen auf die Fingerspitze tropfen und vorsichtig damit über die Schaumstoffstreifen fahren. Mit einem Tropfen Tensidlösung äußerst sparsam die großen flachen Seiten der drei Brechungsobjekte und die Vorderseite der geraden und gekrümmten Beugungsobjekte einreiben.

Tipp: Die Tensidlösung ist lediglich vor dem erstmaligen Gebrauch der Wellenwanne bzw. wenn das Geräte lange nicht gebraucht wurde, auf die Schaumstoffstreifen sowie auf die Beugungs- und die Brechungsobjekte aufzutragen.

Wellenwanne waagerecht ausrichten: Vor dem Befüllen der Wellenwanne die Seiten der Schlauchklemme zusammendrücken, um die Klemme zu schließen. Mit Hilfe des Becherglases etwas Wasser in die Mitte der Wanne gießen, so dass das Wasser einen Kreis mit einem Durchmesser von etwa 10 cm bildet. Wellenwanne mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Füßen ausrichten, bis der Wasserkreis in der Wannenmitte bleibt und sich nicht mehr zu einer Seite bewegt. (Alternativ kann die Wellenwanne ausgerichtet werden, indem etwa 800 Milliliter Wasser eingefüllt werden und dann die Wassertiefe an drei der vier Wannenecken gemessen wird. Die Nivellierschrauben an den Füßen sind so lange zu verstellen, bis der Wert der Wassertiefe an allen Stellen gleich ist.)

Schaumstoffstreifen anfeuchten: Zur Reduzierung der Oberflächenspannung des Wassers sollten die Schaumstoffstreifen etwas Wasser aufsaugen. Hierzu die Wellenwanne mit etwa 800 Milliliter Wasser füllen, Schaumstoff zusammendrücken und anschließend wieder loslassen, damit das Wasser in die Poren des Schaumstoffes dringen kann.

Reinigen

Vor dem Entleeren der Wellenwanne die Mattscheibe und den Umlenkspiegel entfernen. Umlenkspiegel und Mattscheibe so zusammenklappen, dass der Umlenkspiegel durch die Mattscheibe geschützt wird.

Zum Entleeren der Wellenwanne einen Behälter unter den Ablauf stellen und die Schlauchklemme öffnen. Hört das Wasser auf zu fließen, die Wannenecke gegenüber dem Ablauf anheben, so dass das restliche Wasser abfließen kann. Schlauchklemme geöffnet lassen.

Wichtig: So viel wie möglich Wasser aus den Schaumstoffstreifen entfernen. Dazu zunächst mit den Daumen das Wasser aus dem Schaumstoff herauspressen. Anschließend ein zusammengerolltes Tuch auf die Schaumstoffstreifen pressen und das rechtliche Wasser aufsaugen lassen.

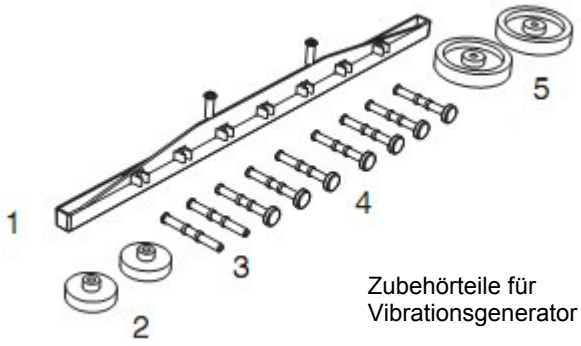
Glasplatte sorgfältig trocknen, damit sich keine Wasserflecken bilden. Zur Reinigung der Glasplatte bzw. des Umlenkspiegels einen weichen Lappen mit Wasser anfeuchten, [Glasplatte bzw. Umlenkspiegel abwischen] und anschließend mit einem sauberen Tuch trocken wischen. Keine Seife und chemischen Reinigungsmittel verwenden.

Tipp: Die Schlauchklemme nach dem Entleeren der Wanne geöffnet lassen, damit der Kunststoffschlauch nicht gequetscht wird.

Vibrationsgenerator mit Lichtquelle

Der Vibrationsgenerator wurde für den Einsatz mit der Wellenwanne konzipiert. Er dient gleichzeitig als Steuerung für die im Lieferumfang enthaltene Lichtquelle. Die Beleuchtung erfolgt über eine weiße LED-Lampe, die während des Betriebs kalt bleibt und ein helles, klares Wellenbild hervorbringt. Die Lichtquelle kann als stetige Beleuchtung verwendet werden oder als Stroboskop-beleuchtung, wodurch ein stehendes Wellenbild erzeugt werden kann. Der in Schritten von 0,1 Hz einstellbare Frequenzbereich des Vibrationsgenerators liegt zwischen 1,0 und 50 Hz. Die Digitalanzeige der eingestellten Frequenzen ist auch bei abgedunkeltem Raum gut zu sehen. Ein Tauchspulenmotor erzeugt die genaue und ruhige Auf-und-Abbewegung der Wellenerregerarme. Mit zwei Drehknöpfen am Vibrationsgenerator werden die Eintauchtiefe und die Amplitude eingestellt. Mit einem Schalter kann die Phase der beiden Wellenerregerarme von 0 Grad (phasengleich) auf 180 Grad (phasenverschoben) umgeschaltet werden.

Aufsätze für den Vibrationsgenerator: Zum Vibrationsgenerator gehören ein Erreger für ebene Wellen (1), kleine Erregerscheiben (2), Erregerstifte (3), punktförmige Wellenerreger (4) und große Erregerscheiben (5). Der Erreger für ebene Wellen und die punktförmigen Wellenerreger können an den Halteclips an den Erregerarmen befestigt werden. Die kleinen und die großen Erregerscheiben werden mit Hilfe der Erregerstifte an den Erregerarmen bzw. an den Halteclips an der einen Seite des Erregers für ebene Wellen befestigt. Die punktförmigen Wellenerreger können am Halteclip an der Spitze eines Erregerarms oder an den Halteclips am Erreger für ebene Wellen befestigt werden.



Zubehörteile für Vibrationsgenerator

Tipp: Vor dem erstmaligen Gebrauch des Erregers für ebene Wellen, der Wellenerreger oder der Erregerscheiben (bzw. wenn diese lange nicht in Gebrauch waren) Unterseite mit einer winzigen Menge Tensidlösung benetzen.

Die punktförmigen Wellenerreger und die Erregerstifte sind so konstruiert, dass das obere Drittel sicher in die Halteclips an den Erregerarmen einrastet. Die Teile passen nur in einer Richtung in die Halteclips und dürfen nicht mit Kraftaufwand in die Clips gepresst werden. Die Wellenerreger

und die Erregerstifte sind so konstruiert, dass das mittlere Drittel in die Halteclips am Erreger für ebene Wellen passt.

Die punktförmigen Wellenerreger und die Erregerstifte können als so genannte Punktquellen verwendet werden. Dabei gilt generell: Je höher die Frequenz des Vibrationsgenerators, desto kleiner sollte der Punktquellen-Aufsatz sein, um ein möglichst kontrastreiches Bild der kreisförmigen Wellen zu erzeugen.

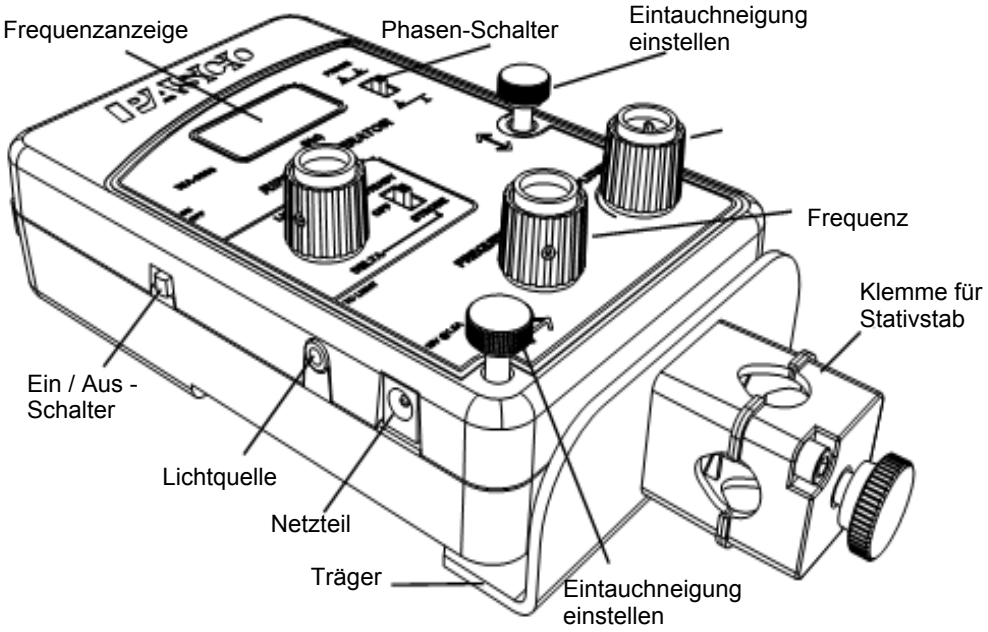
Lichtquelle anbringen: Die Lichtquelle verfügt über eine eingebaute Befestigungsklemme, mit der die Leuchte an dem zur Wellenwanne gehörenden Stativstab befestigt wird. Die Lichtquelle ist so im oberen Bereich des Stativstabs zu befestigen, dass sie einen rechten Winkel mit dem Stativstab bildet und sich ihre Öffnung über der Mitte der Wellenwanne befindet.

Vibrationsgenerator anbringen: Der Vibrationsgenerator wird mit Hilfe der an einem Ende eingebauten Befestigungsklemme an einem 90-cm langen Stativstab (ME-8738, nicht im Lieferumfang enthalten) befestigt, der von einem großen Stativfuß (ME-8735, nicht im Lieferumfang enthalten) gehalten wird. Der Vibrationsgenerator ist so zu platzieren, dass er sich knapp über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne befindet, die Wellenwanne jedoch nicht berührt. Der Generator ist so anzuordnen, dass er einen rechten Winkel mit der Wellenwannenseite bildet und sein Mittelpunkt etwa in einer Linie mit der Innenkante der Wellenwanne liegt.

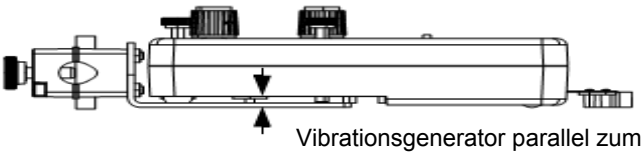
Netzadapter anschließen: Im Lieferumfang des Vibrationsgenerators ist ein Netzadapter für 15 V DC (bei bis zu 1,6 A) enthalten. Beiliegendes Anschlusskabel mit dem Netzadapter und einer Steckdose verbinden. Anschließend den Stecker des Netzadapters in die Netzanschlussbuchse an der Seite des Vibrationsgenerators stecken.

Tipp: Vor dem Anschließen des Netzadapters an den Vibrationsgenerator ist sicherzustellen, dass der Ein-/Aus-Schalter 'ON-OFF' an der linken Seite in der 'OFF'-Stellung (AUS) ist.
Zudem muss der Drehknopf 'AMPLITUDE' auf der Oberseite des Vibrationsgenerators bis zum Anschlag gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden.

Lichtquelle anschließen: Den Stecker am Anschlusskabel der Lichtquelle in die mit 'TO LIGHT' gekennzeichnete Buchse an der Seite des Vibrationsgenerators stecken.



Wellenerreger justieren: Der Vibrationsgenerator verfügt über zwei Drehknöpfe, mit denen die Eintauchtiefe und die Eintauchneigung minimal verändert werden können. Mit Hilfe der beiden Drehknöpfe ist es möglich, die Position der Wellenerreger, des Erregers für ebene Wellen oder der Erregerscheiben im Wasser sehr genau einzustellen, ohne dazu den ganzen Vibrationsgenerator am Stativstab auf und ab bewegen zu müssen. Mit dem Drehknopf rechts lässt sich der vordere Teil des Vibrationsgenerators auf und ab bewegen. Mit dem Drehknopf in der hinteren Ecke lässt sich der vordere Teil des Vibrationsgenerators nach rechts bzw. links (mit dem Uhrlauf bzw. gegen den Uhrlauf) neigen.



Vibrationsgenerator parallel zum Träger

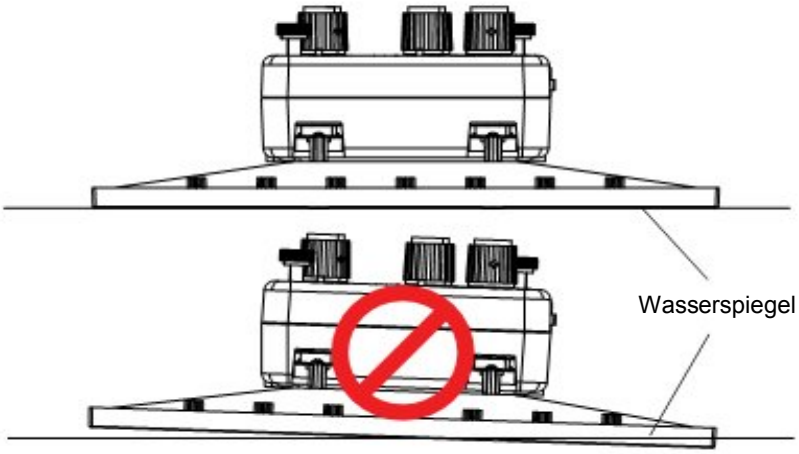
Vor der Feineinstellung ist sicherzustellen, dass der am Stativstab befestigte Vibrationsgenerator parallel zum Träger ist. Dadurch ist die größtmögliche Justierungsbreite für den Erreger für ebene Wellen, die punktförmigen Wellenerreger oder die Erregerscheiben gegeben.

Es ist äußerst wichtig, dass die Wellenerreger die Wasseroberfläche der Wellenwanne nur ganz leicht berühren. Beim Erreger für ebene Wellen ist es außerdem wichtig, dass der Erreger auf seiner gesamten Länge gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aufliegt.

Der am Stativstab befindliche Vibrationsgenerator kann beispielsweise justiert werden, indem man den Stativstab unterhalb der Befestigungsklemme festhält, die Rändelschraube an der Befestigungsklemme löst, die Befestigungsklemme mit dem Daumen hält, sie nun vorsichtig am Stativstab nach oben bzw. unten verschiebt, bis die an den Erregerarmen befestigten

Wellenerreger die Wasseroberfläche berühren, und anschließen die Rändelschraube an der Befestigungsklemme feststellt, damit der Vibrationsgenerator am Stativstab nicht verrutscht.

Als nächstes wird der Vibrationsgenerator mit Hilfe der beiden Drehknöpfe für die Eintauchtiefe und die Eintauchneigung nach oben bzw. unten und nach links bzw. rechts geneigt, bis die Wellenerreger die Wasseroberfläche ganz leicht berühren. Die Position wurde richtig eingestellt, wenn sich die Wasseroberfläche an den Seiten der Wellenerreger nach oben wölbt.

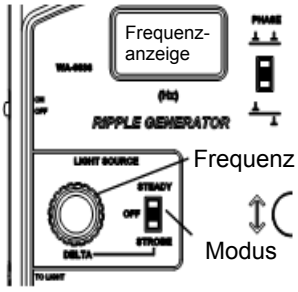


Amplitude einstellen: Mit dem Drehknopf „Amplitude" kann die Amplitude der Erregerarme eingestellt werden. Durch Drehen des Drehknopfes mit dem Uhrlauf wird die Amplitude vergrößert; durch Drehen des Drehknopfes gegen den Uhrlauf (von rechts nach links) wird sie verringert.

In der Regel ist die Amplitude bei allen Versuchen einzustellen, um ein klares, unverzerrtes Wellenbild zu erzielen.

Frequenz einstellen: Mit dem Drehknopf „Frequenz" kann die Frequenz der Erregerarme eingestellt werden. Die Frequenzanzeige zeigt die Frequenz in 0,1-Hz-Schritten an. Der Frequenzbereich liegt zwischen 1,0 und 50,0 Hz. Werksseitig sind 20,0 Hz als Standardfrequenz voreingestellt; diese Frequenz ist als Ausgangsfrequenz für die unten beschriebenen Versuche besonders geeignet. Durch Drehen des Drehknopfes mit dem Uhrlauf wird die Frequenz erhöht; durch Drehen des Drehknopfes gegen den Uhrlauf wird die Frequenz verringert.

Phasenlage: Mit dem Schalter „Phasenlage" rechts oben am Vibrationsgenerator kann die Phasenlage der beiden Erregerarme von 0 Grad (phasengleich) auf 180 Grad (phasenverschoben) verändert werden. Der Schalter kann betätigt werden, während der Vibrationsgenerator in Betrieb ist.



Lichtquellensteuerung: Die Lichtquelle kann als Stroboskop oder als stetige Beleuchtung verwendet werden. Die Steuerung der Lichtquelle besteht aus einem Dreiweg-Betriebsartenschalter mit den Stellungen 'STEADY' (stetige Beleuchtung), 'OFF' (aus) und 'STROBE' (Stroboskop-Betrieb) sowie einen mit 'DELTA' bezeichneten Drehknopf, mit dem sich die Frequenz des Stroboskops einstellen lässt.

DELTA-Funktion: Im Normalfall sind die Frequenzen von Stroboskop und Vibrationsgenerator synchron. Beträgt die Frequenz des Stroboskops mindestens 5,0 Hz, lässt sich die Stroboskop-Frequenz mit dem DELTA-Drehknopf unabhängig von der Frequenz der Erregerarme erhöhen oder verringern. (Beträgt die Generatorfrequenz weniger als 5,0 Hz, lässt sich die Stroboskop-

Frequenz mit dem DELTA-Drehknopf nicht verändern). Durch Drehen des DELTA-Drehknopfes mit dem Uhrlauf wird die Stroboskop-Frequenz erhöht; durch Drehen des DELTA-Drehknopfes gegen den Uhrlauf (von rechts nach links) wird die Stroboskop-Frequenz verringert. Mit jedem Rastschritt des DELTA-Drehknopfes ändert sich die Stroboskop-Frequenz um 0,8 Hz. Die Frequenzanzeige am Vibrationsgenerator zeigt die DELTA-Änderungsschritte (z. B. 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 oder 5,0 bei Drehung des DELTA-Drehknopfes mit dem Uhrlauf und -1,0, -2,0, etc. bei Drehung des DELTA-Drehknopfes gegen den Uhrlauf) einige Sekunden lang an, bevor sie wieder zur Frequenz des Vibrationsgenerators wechselt. Zeigt die Frequenzanzeige beispielsweise 20,0 Hz an und wird der DELTA-Drehknopf um einen Rastschritt mit dem Uhrlauf gedreht, zeigt die Frequenzanzeige kurzzeitig „1,0“ und danach die Stroboskop-Frequenz 20,8 Hz an. Der Vibrationsgenerator schwingt jedoch weiterhin mit einer Frequenz von 20,0 Hz.

Die DELTA-Funktion ermöglicht es also, eine Frequenzdifferenz zwischen dem Stroboskop und dem Vibrationsgenerator einzustellen. Damit scheinen sich die Wellen mit einer konstanten, vorhersagbaren Geschwindigkeit zu bewegen.

Beschreibung der Versuche

Die folgenden Versuche können mit der im Lieferumfang der Wellenwanne enthaltenen Ausrüstung und weiteren Materialien, wie z. B. Winkelmesser, Zirkel und Papier, durchgeführt werden. Die für den jeweiligen Versuch benötigte Ausrüstung ist in der Beschreibung des betreffenden Versuchs aufgeführt.

1. **Reflexion**: Beobachtung der Reflexion ebener Wellen an geraden und gekrümmten Objekten.
2. **Brechung**: Beobachtung des Brechungsverhaltens ebener Wellen beim Übergang zwischen zwei Medien, in denen sich die Wellen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten.
3. **Beugung**: Beobachtung der Änderung des Beugungsmusters ebener Wellen in Abhängigkeit von der Spaltbreite der Beugungsobjekte und der Wellenlänge.
4. **Interferenz**: Beobachtung der Änderung des Doppelspaltinterferenzmusters in Abhängigkeit von Spaltbreite/-abstand und Wellenlänge.
5. **Abbildung eines Objekts am Planspiegel**: Bestimmung des Lagepunkts eines durch einen Planspiegel erzeugten Bildes in Verhältnis zum Bildabstand vom Spiegel.
6. **Wellengeschwindigkeit**: Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Wellengeschwindigkeit und der Frequenz bzw. der Wassertiefe.
7. **Dopplereffekt**: Demonstration des Dopplereffekts durch Bewegen des Vibrationsgenerators mit konstanter Geschwindigkeit entlang einer geraden Linie.

Versuch 1: Reflexion

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Langes Beugungsobjekt	Erreger für ebene Wellen
Gekrümmtes Beugungsobjekt	Lineal

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Winkelmesser
90-cm Stativstab	Zirkel
Papier (ca. 40 cm x 40 cm)	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es, das Reflexionsverhalten einer ebenen Welle an unterschiedlich geformten Objekten - einem langen geraden Objekt und einem gekrümmten Objekt - zu untersuchen.

Theorie

Ein Strahl gibt die Ausbreitungsrichtung einer ebenen Welle an. Die Wellenfronten stehen senkrecht zum Strahl. Bei der Reflexion einer Welle an einer Oberfläche wird der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Normalen (Senkrechte zur Oberfläche) als Einfallswinkel und der Winkel zwischen dem reflektierten Strahl und der Normalen als Reflexionswinkel (auch Ausfallswinkel) bezeichnet.

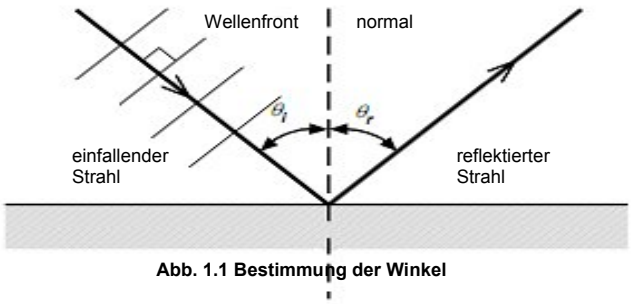
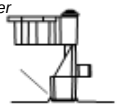


Abb. 1.1 Bestimmung der Winkel

Versuchsaufbau

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten.
3. Das lange gerade Objekt in die Mitte der Wellenwanne setzen und etwa 800 ml Wasser einfüllen (bzw. soviel Wasser einfüllen, dass das lange gerade Objekt etwa zur Hälfte im Wasser liegt)
4. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
5. Den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des Erregers für ebene Wellen die Wasseroberfläche ganz leicht berührt.
6. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die mit Hilfe der Lichtquelle darauf projizierten Wellen nachzeichnen kann.

Es ist darauf zu achten, dass der Erreger für ebene Wellen auf seiner gesamten Länge gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aufliegt.



Die Wasseroberfläche wölbt sich an den Seiten des Erregers für ebene Wellen nach oben.

Teil 1: Reflexion an einem geraden Objekt

Versuchsdurchführung

1. Das lange Objekt in der Mitte der Wellenwanne schräg zum Erreger für ebene Wellen anordnen (vgl. Abb. 1.2).
2. Vibrationsgenerator und Lichtquelle einschalten. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf 20 Hz einstellen. Die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum stellen.
3. Das Lineal auf dem Papier unter der Wellenwanne parallel zu den ebenen Wellen legen, die auf das Objekt auftreffen. Eine Linie für die auftreffende Wellenfront ziehen.

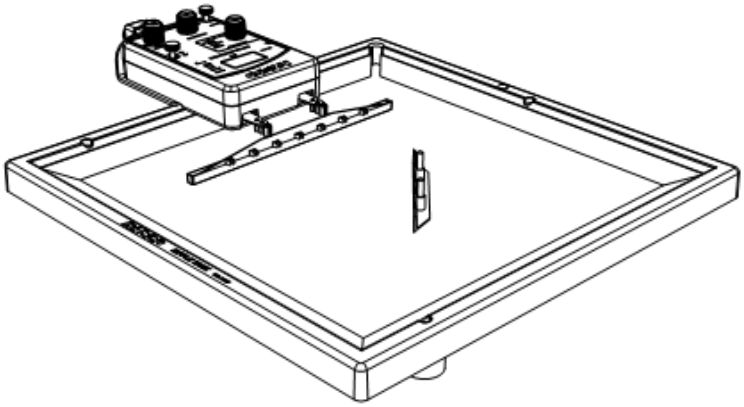


Abb. 1.2 Anordnung des geraden Objektes

4. Das Lineal parallel zu einer reflektierten Welle legen und eine Linie für die reflektierte Wellenfront ziehen.
5. Die Lage des geraden Objekts einzeichnen.
6. Vibrationsgenerator und Lichtquelle ausschalten.

Versuchsauswertung

1. Eine zur einfallenden Wellenfront senkrecht stehende Linie ziehen und diese Linie bis zum geraden Objekt verlängern. Die Linie stellt den einfallenden Strahl dar; es kann also ein Pfeil an das zum Objekt hinzeigende Ende gezeichnet werden.
2. Von dem Punkt aus, an dem der einfallende Strahl auf das gerade Objekt trifft, eine Linie ziehen, die die reflektierte Wellenfront im rechten Winkel schneidet. Die Linie stellt den reflektierten Strahl dar; es kann also ein Pfeil an das vom Objekt wegzeigende Ende gezeichnet werden.
3. Die Normale (senkrechte Linie) durch den Reflexionspunkt am geraden Objekt ziehen.
4. Den Einfallswinkel und den Reflexionswinkel messen und die Messwerte in die Tabelle eintragen.
5. Winkel des Objekts ändern und den Versuch erneut durchführen.

Tabelle 1.1: Messwerte Reflexion

	Durchgang 1	Durchgang 2
Einfallswinkel		
Reflexionswinkel		

Frage

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Einfallswinkel und dem Reflexionswinkel?

Teil 2: Reflexion an einem gekrümmten Objekt

Versuchsdurchführung

1. Das gerade Objekt durch ein gekrümmtes Objekt ersetzen. Dabei das gekrümmte Objekt, wie in Abb. 1.3 dargestellt, „parallel“ zum Erreger für ebene Wellen anordnen.
2. Lichtquelle einschalten. Lage des gekrümmten Objekts auf dem Papier unter der Wellenwanne einzeichnen.
3. Vibrationsgenerator einschalten.
4. Die Stelle auf dem Papier kennzeichnen, an der die Wellen, die am gekrümmten Objekt reflektiert werden, zusammenlaufen. Vibrationsgenerator ausschalten.

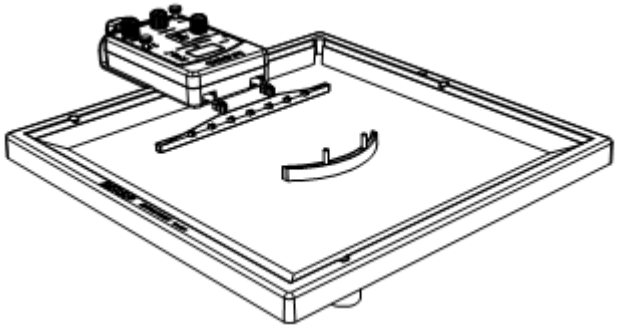


Abb. 1.3 Anordnung des gekrümmten Objektes

5. Mit Hilfe der Pipette ein einzelnes Wassertröpfchen auf die Stelle in der Wellenwanne topfen, an der die Wellen zusammenlaufen. Die Form der Wellen beschreiben, wie am gekrümmten Objekt reflektiert werden.

Versuchsauswertung

1. Den Kreisausschnitt des gekrümmten Objekts auf dem Papier mit einem Zirkel vervollständigen. Mittelpunkt des Kreises markieren und den Kreisradius messen.

Frage

1. Welche Form hatten die Wellenfronten, die vom gekrümmten Objekt reflektiert wurden, als das Wassertröpfchen in die Wellenwanne tropfte?
2. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Kreisradius und dem Abstand zwischen dem gekrümmten Objekt und der Stelle, an der die reflektierten ebenen Wellen zusammenlaufen?

Zusatzversuch

Das gekrümmte Objekt wird um 180 Grad gedreht, so dass es wie in Abb. 1.4 dargestellt mit der nach außen gekrümmten Seite zum Erreger für ebene Wellen zeigt. Versuch wie beschrieben erneut durchführen, dabei jedoch die Form der reflektierten Wellen und den Umriss des gekrümmten Objekts skizzieren.

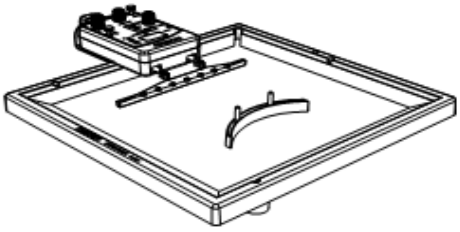


Abb. 1.3 Anordnung des gekrümmten Objektes (180° gedreht)

Anschließend mindestens drei Strahlen senkrecht zu den reflektierten Wellen einzeichnen. Die Strahlen verlängern, bis sie einander schneiden, und den Schnittpunkt kennzeichnen. Den Abstand zwischen dem gekrümmten Objekt und dem Schnittpunkt messen und diesen Abstand mit dem Radius des gekrümmten Objekts vergleichen.

Versuch 2: Brechung

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Trapezförmiges Brechungsobjekt	Erreger für ebene Wellen
Konkaves Brechungsobjekt	Lineal
Konvexes Brechungsobjekt	

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Papier (ca. 40 cm x 40 cm)
90-cm Stativstab	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es zu zeigen, wie sich die Richtung einer Welle beim Übergang zwischen zwei Medien, in denen sich die Welle unterschiedlich schnell ausbreitet, ändert.

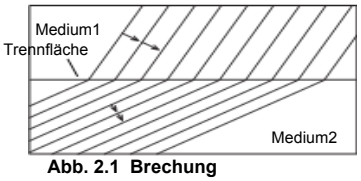


Abb. 2.1 Brechung

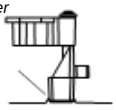
Theorie

Trifft eine Welle von einem Medium auf ein anderes, in dem sie sich mit einer anderen Geschwindigkeit ausbreitet, ändert die Welle die Richtung. Breitet sich die Welle im zweiten Medium mit einer geringeren Geschwindigkeit aus, so wird sie, wie in Abb. 2.1 dargestellt, zum Lot der Trennfläche hin abgelenkt. Diese Ablenkung bezeichnet man als Brechung.

Versuchsaufbau

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten.
3. Das trapezförmige Brechungsobjekt in die Mitte der Wellenwanne setzen und etwa 700 ml Wasser einfüllen (bzw. soviel Wasser einfüllen, dass das Brechungsobjekt bis zur Oberkante im Wasser liegt)
4. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
5. Den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des Erregers für ebene Wellen die Wasseroberfläche ganz leicht berührt.
6. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die mit Hilfe der Lichtquelle darauf projizierten Wellen nachzeichnen kann.

Es ist darauf zu achten, dass der Erreger für ebene Wellen auf seiner gesamten Länge gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aufliegt.



Die Wasseroberfläche wölbt sich an den Seiten des Erregers für ebene Wellen nach oben.

Teil 1: Brechung an einem geraden Brechungsobjekt

Versuchsdurchführung

1. Das trapezförmige Brechungsobjekt in der Mitte der Wellenwanne so anordnen, dass die Seite mit den rechten Winkeln parallel und im Abstand von etwa 5 cm zum Erreger für ebene Wellen liegt (vgl. Abb. 2.2).
2. Die Wellenwanne mit soviel Wasser befüllen, dass das Brechungsobjekt gleichmäßig mit weniger als 1 mm Wasser bedeckt ist.
3. Vibrationsgenerator und Lichtquelle einschalten. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf maximal 15 Hz einstellen. Die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum stellen und nach Bedarf verändern, um ein klares Muster der ebenen Wellen zu erzeugen.
4. Den Umriss des trapezförmigen Brechungsobjekts auf dem Papier unter der Wellenwanne nachzeichnen.
5. Das Lineal parallel zu den ebenen Wellen legen, die auf das Brechungsobjekt auftreffen. Linien für die auftreffenden Wellenfronten ziehen.
6. Die Form der gebrochenen Wellen im Umriss des Brechungsobjekts nachzeichnen, um ihre Ablenkung bei der Ausbreitung über das Brechungsobjekt zu verdeutlichen.

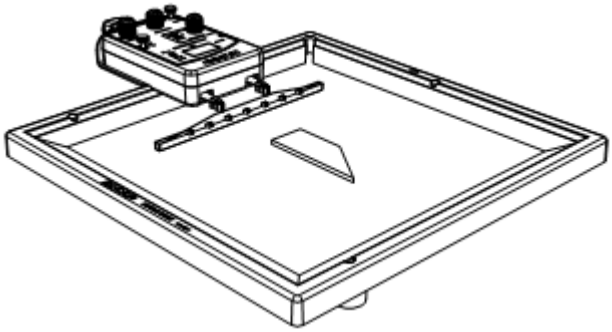


Abb. 2.2 Anordnung des trapezförmigen Brechungsbjektes

7. Anschließend das trapezförmige Brechungsobjekt umdrehen, so dass es mit der Spitze zum Erreger für ebene Wellen zeigt, und den Versuch erneut durchführen.
8. Vibrationsgenerator und Lichtquelle ausschalten.

Um ein klares Wellenmuster auf dem Brechungsobjekt zu erzeugen, Frequenz nach Bedarf verändern. Je niedriger die Frequenz, desto deutlicher die Brechung.

Versuchsauswertung

1. Eine zur einfallenden Wellenfront senkrecht stehende Linie ziehen und diese Linie bis zum trapezförmigen Brechungsobjekt verlängern. Die Linie stellt den einfallenden Strahl dar; es kann also ein Pfeil an das zum Brechungsobjekt hinzeigende Ende gezeichnet werden.
2. An der Stelle, an der die Linie des einfallenden Strahls auf das Brechungsobjekt trifft, wird eine weitere Linie eingezeichnete, die senkrecht zur Wellenfront der Wellen steht, die bei ihrer Ausbreitung über das trapezförmige Brechungsobjekt gebrochenen werden.

Fragen

1. Was geschieht mit der Richtung der Wellenfronten, die sich über das trapezförmige Brechungsobjekt hinweg bewegen?
2. Wird die ebene Welle beim Übergang vom tiefen Wasser zum flachen Wasser über dem Brechungsobjekt schneller oder langsamer?

Teil 2: Brechung an gekrümmten Brechungsobjekten

Versuchsdurchführung

1. Das trapezförmige Brechungsobjekt durch ein konvexes Brechungsobjekt ersetzen, und dieses in der Mitte der Wellenwanne so anordnen, dass die gerade Seite parallel und im Abstand von etwa 5 cm zum Erreger für ebene Wellen liegt (vgl. Abb. 2.3).
2. Vibrationsgenerator und Lichtquelle anschalten. Das konvexe Brechungsobjekt auf dem Papier unter der Wellenwanne nachzeichnen.
3. Das Muster der ebenen Wellen nachzeichnen, die sich vom Erreger für ebene Wellen über das konvexe Brechungsobjekt hinweg ausbreiten.

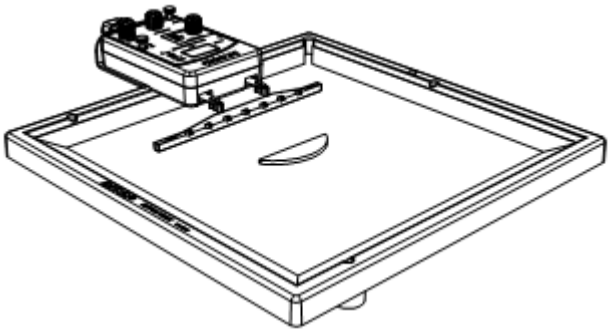


Abb. 2.3 Anordnung des konvexen Brechungsobjektes

4. Die Brennweite der konvexen „Linse“ mit dem Lineal messen. Dabei handelt es sich um den Abstand zwischen der Linsenmitte und dem Punkt, an dem die gebrochenen, ebenen Wellen zusammenlaufen.
5. Das konvexe Brechungsobjekt durch ein konkaves Brechungsobjekt ersetzen und das neue Muster der ebenen Wellen nachzeichnen, die sich vom Erreger über das konkave Brechungsobjekt hinweg ausbreiten.

Versuchsauswertung

1. Mit dem Lineal werden drei Strahlen eingezeichnet, mit denen die Ausbreitungsrichtung der vom Erreger ausgehenden ebenen Wellen über dem konvexen Brechungsobjekt in drei Bereichen dargestellt werden soll. Hierzu wird ein Strahl für die Wellenfronten, die sich über das obere Drittel des konvexen Brechungsobjekts bewegen, ein zweiter Strahl für die Wellenfronten, die sich über das mittlere Drittel des Brechungsobjekts bewegen, und ein dritter Strahl für die Wellenfronten, die sich über das untere Drittel des Brechungsobjekts bewegen, eingezeichnet.
2. Die Strahlen für das Wellenmuster der Wellen, die sich über das konkave Brechungsobjekt ausbreiten, werden ebenfalls eingezeichnet. Hierzu wird ein Strahl für die Wellenfronten, die sich über das obere Drittel des konkaven Brechungsobjekts bewegen, ein zweiter Strahl für die Wellenfronten, die sich über das mittlere Drittel des Brechungsobjekts bewegen, und ein dritter Strahl für die Wellenfronten, die sich über das untere Drittel des Brechungsobjekts bewegen, eingezeichnet.
3.

Fragen

1. Was geschieht mit der Richtung der Strahlen, mit denen die Ausbreitungsrichtung der ebenen Wellen dargestellt wird, die sich über das konkave Brechungsobjekt bewegen?
2. Laufen die Wellen, die am konkaven Brechungsobjekt gebrochen werden, zusammen oder auseinander?

Versuch 3: Beugung

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Langes Beugungsobjekt (2)	Erreger für ebene Wellen
Kurzes Beugungsobjekt	Lineal

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Papier (ca. 40 cm x 40 cm)
90-cm Stativstab	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es herauszufinden, wie sich das Beugungsmuster ebener Wellen verändert, wenn sich die Spaltbreite (die Lücke zwischen den Beugungsobjekten) und die Wellenlänge ändern.

Theorie

Passiert die Front einer ebenen Welle eine Lücke bzw. einen Spalt zwischen zwei Beugungsobjekten, erzeugt jeder Punkt der Wellenfront eine neue kreisförmige Welle. Ist die Lücke bzw. der Spalt groß im Verhältnis zur Wellenlänge, vereinen sich die Fronten der Kreiswellen zu einen neuen ebenen Wellenfront. Ist die Lücke bzw. der Spalt klein im Verhältnis zur Wellenlänge, gleicht der Teil der Wellenfront, der den Spalt passiert, weniger einer ebenen Welle als vielmehr einer kreisförmigen Welle. Die Entstehung einer kreisförmigen Welle, wenn eine Wellenfront, wie in Abb. 3.1 dargestellt, auf einen Spalt trifft, wird Beugung genannt.

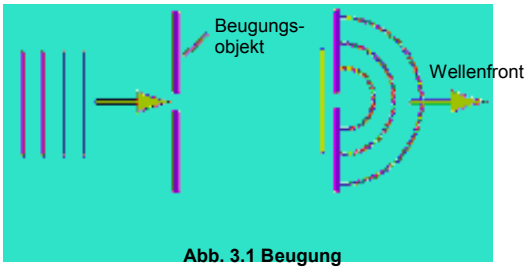
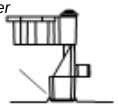


Abb. 3.1 Beugung

Versuchsaufbau

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten.
3. Das lange gerade Beugungsobjekt in die Mitte der Wellenwanne setzen und etwa 800 ml Wasser einfüllen (bzw. soviel Wasser einfüllen, dass das lange gerade Beugungsobjekt etwa zur Hälfte im Wasser liegt)
4. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
5. Den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des Erregers für ebene Wellen die Wasseroberfläche ganz leicht berührt.
6. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf 20 Hz und die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum einstellen.
7. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die mit Hilfe der Lichtquelle darauf projizierten Wellen nachzeichnen kann.

Es ist darauf zu achten, dass der Erreger für ebene Wellen auf seiner gesamten Länge gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aufliegt.



Die Wasseroberfläche wölbt sich an den Seiten des Erregers für ebene Wellen nach oben.

Versuchsdurchführung: Gerade Beugungsobjekte

1. Die beiden langen Beugungsobjekte etwa 3 cm voneinander entfernt so im Wasser anordnen, dass sie parallel und im Abstand von etwa 5 cm zum Erreger für ebene Wellen liegen (vgl. Abb. 3.2.).
2. Vibrationsgenerator und Lichtquelle anschalten. Die Amplitude nach Bedarf verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.
3. Den Umriss der beiden langen Beugungsobjekte auf dem Papier unter der Wellenwanne nachzeichnen.
4. Die Wellenfronten und die Strahlen für die Ausbreitungsrichtung der Wellen nach dem Passieren des Spalts zwischen den Beugungsobjekten skizzieren.
5. Durch Zusammenschieben der beiden Beugungsobjekte die Spaltbreite auf etwa 1,5 cm verkleinern.

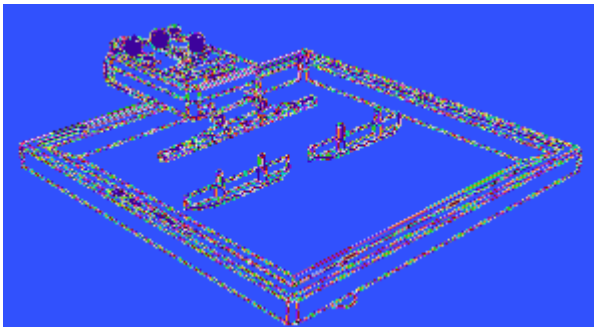


Abb. 3.2 Anordnung der langen Beugungsobjekte

6. Die neuen Strahlen für die Ausbreitungsrichtung der Wellen nach dem Passieren des Spalts zwischen den Beugungsobjekten skizzieren.
7. Die Spaltbreite von 1,5 cm nicht verändern, jedoch die Frequenz des Vibrationsgenerators erhöhen. Auswirkung auf die Wellenlänge und den Beugungswinkel beobachten.

Fragen

1. Ist der Beugungswinkel beim kleineren Spalt (1,5 cm) größer oder kleiner als der Beugungswinkel beim größeren Spalt (3,0 cm)?
2. Wie wirkt sich die Erhöhung der Frequenz auf die Wellenlänge aus?
3. Wie wirkt sich die Erhöhung der Frequenz auf den Beugungswinkel der auf den Spalt treffenden Wellenfronten aus?

Versuchsdurchführung: Festes Objekt

1. Die Frequenz des Vibrationsgenerators wieder auf 20 Hz stellen.
2. Das kurze Beugungsobjekt in die Lücke zwischen den langen Beugungsobjekten setzen und anschließend die langen Beugungsobjekte entfernen.
3. Das Wellenmuster skizzieren, dass sich ergibt, wenn die Wellenfronten auf das kurze Beugungsobjekt treffen.
4. Wie beim vorherigen Versuch die Frequenz des Vibrationsgenerators erhöhen und die Auswirkung auf das Wellenmuster beobachten.

Fragen

1. Was geschieht mit der Front der ebenen Wellen, die auf das kurze Beugungsobjekt treffen?
2. Wie wirkt sich die Erhöhung der Frequenz auf die Front der ebenen Wellen, die auf das kurze Beugungsobjekt treffen?

Versuch 4: Interferenz

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Langes Beugungsobjekt (2)	Erreger für ebene Wellen
Mittleres Beugungsobjekt	Punktförmiger Wellenerreger (2)
Kurzes Beugungsobjekt	

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Papier (ca. 40 cm x 40 cm)
90-cm Stativstab	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es herauszufinden, wie sich das an zwei Spalten bzw. durch zwei Punktquellen erzeugte Interferenzmuster verändert, wenn sich die Spaltbreite bzw. die Wellenlänge ändert.

Theorie

Trifft eine Wellenfront auf zwei Spalte, verhält sie sich wie zwei Punktquellen. Die sich hinter den Spalten ausbreitenden kreisförmigen Wellenmuster interferieren konstruktiv und destruktiv. Die Stellen der Interferenzmaxima (konstruktive Interferenz) können mit Hilfe der folgenden Formel berechnet werden:

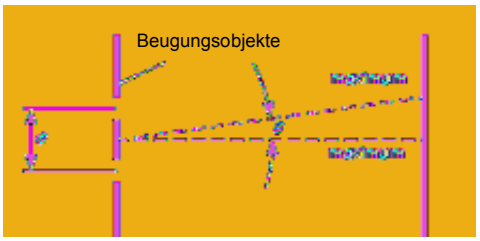


Abb. 4.1. Beugung

$$d \sin\theta = m\lambda$$

mit: d = Spaltabstand; θ = Winkel zwischen je zwei Maxima, λ = Wellenlänge und m = Ordnung mit m = 0, 1, 2, etc. (vg. Abb. 4.1)

Versuchsaufbau: Gerade Beugungsobjekte

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten.
3. Die langen geraden Beugungsobjekte in die Mitte der Wellenwanne setzen und etwa 800 ml Wasser einfüllen (bzw. soviel Wasser einfüllen, dass die langen geraden Beugungsobjekte etwa zur Hälfte im Wasser liegt)
4. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
5. Den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des Erregers für ebene Wellen die Wasseroberfläche ganz leicht berührt.
6. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die mit Hilfe der Lichtquelle darauf projizierten Wellen nachzeichnen kann.

Es ist darauf zu achten, dass der Erreger für ebene Wellen auf seiner gesamten Länge gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aufliegt.

Die Wasseroberfläche wölbt sich an den Seiten des Erregers für ebene Wellen nach oben.

Versuchsdurchführung: Gerade Beugungsobjekte

1. Das mittlere Beugungsobjekt so zwischen die beiden langen Beugungsobjekte ins Wasser setzen, dass zwei 2-cm-breite Spalte entstehen. Die Beugungsobjekte parallel und im Abstand von etwa 5 cm zum Erreger für ebene Wellen anordnen (vgl. Abb. 4.2.).
2. Vibrationsgenerator und Lichtquelle anschalten. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf 20 Hz und die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum einstellen.
3. Den Umriss der Beugungsobjekte auf dem Papier unter der Wellenwanne nachzeichnen.
4. Die Wellenfronten und die Strahlen für die Ausbreitungsrichtung der Wellen nach dem Passieren der Spalte zwischen den Beugungsobjekten skizzieren.
5. Die Bereiche hinter den Spalten, in denen sich die Wellen gegenseitig auslöschen und in denen sie sich zu Wellen mit höheren Wellenbergen verstärken, suchen und markieren.

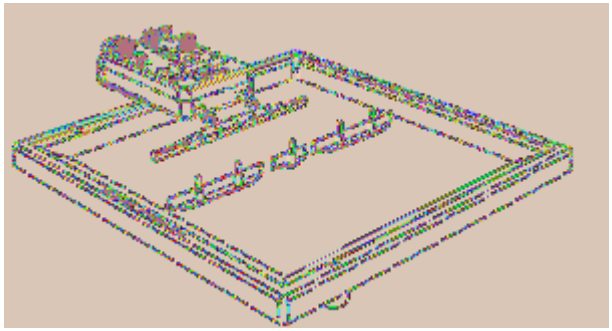


Abb. 4.2 Anordnung der langen Beugungsobjekte

Um ein klares Wellenmuster auf dem Brechungsobjekt zu erzeugen, Frequenz nach Bedarf verändern. Je niedriger die Frequenz, desto deutlicher die Brechung.

6. Den Spaltabstand erhöhen. *Das mittlere Beugungsobjekt durch das kurze Beugungsobjekt ersetzen. Die Spaltbreit von 2 cm nicht verändern.*
7. Die Frequenz ändern. Spaltabstand und Spaltbreite werden nicht verändert. Die Frequenz wird jedoch erhöht, um die Wellenlänge zu verkürzen.

Fragen

1. Wenn der Spaltabstand verringert wird, wird dann der Beugungswinkel der Wellen größer oder kleiner?
2. Wenn die Frequenz erhöht und die Wellenlänge verringert wird, wird dann der Beugungswinkel der Wellen größer oder kleiner?

Versuchsaufbau: Zwei Punktquellen

1. Den Vibrationsgenerator vorübergehend ausschalten.
2. Die geraden Beugungsobjekte aus der Wellenwanne entfernen und statt dem Erreger für ebene Wellen zwei punktförmige Wellenerreger an den Erregerarmen befestigen (vgl. Abb. 4.3). Den Vibrationsgenerator so justieren, dass die beiden punktförmigen Wellenerreger die Wasseroberfläche nur ganz leicht berühren.
3.

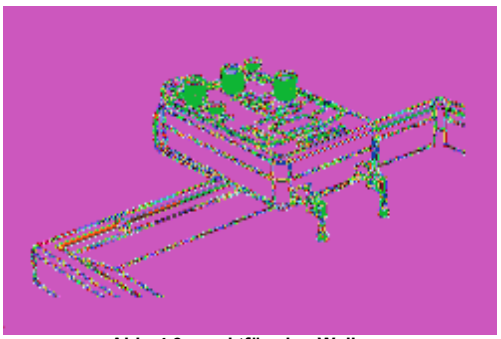


Abb. 4.3 punktförmige Wellenerreger

Versuchsdurchführung: Zwei Punktquellen

1. Den Vibrationsgenerator einschalten und die Frequenz zurück auf 20 Hz stellen. Die Amplitude nach Bedarf verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.
2. Das durch die Interferenz der von den beiden Punktquellen erzeugten Wellenfronten entstehende Wellenmuster skizzieren.

Frage

1. Wie sieht das durch die beiden Punktquellen entstandene Interferenzmuster im Vergleich zum Interferenzmuster an den zwei Spalten aus?

Zusatzversuche

Drei Punktquellen: Den Vibrationsgenerator anheben, die zwei punktförmigen Wellenerreger entfernen und den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Drei punktförmige Wellenerreger in einem gleichmäßigen Abstand an den Halteclips am Erreger für ebene Wellen befestigen. Den Vibrationsgenerator so justieren, dass die drei punktförmigen Wellenerreger die Wasseroberfläche nur ganz leicht berühren.

Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf 20 Hz einstellen und den Versuch analog zu dem Versuch mit den zwei Punktquellen durchführen. Die Amplitude nach Bedarf verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.

Das durch die Interferenz der von den drei Punktquellen erzeugten Wellenfronten entstehende Wellenmuster skizzieren.

Fünf Punktquellen: Zwei weitere punktförmige Wellenerreger an den Halteclips am Erreger für ebene Wellen befestigen und darauf achten, dass die fünf Wellenerreger den gleichen Abstand zueinander haben (vgl. Abb. 4.4). Den Versuch analog zu dem Versuch mit den drei Punktquellen durchführen.

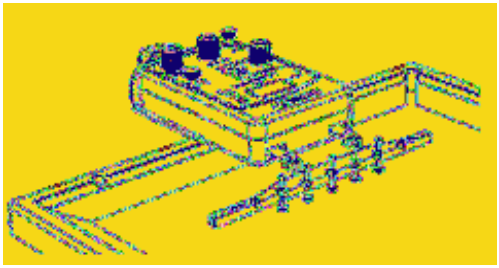


Abb. 4.4 mehrere Wellenerreger

Das durch die Interferenz der von den fünf Punktquellen erzeugten Wellenfronten entstehende Wellenmuster skizzieren.

Erregerscheiben: Den Vibrationsgenerator anheben und den Erreger für ebene Wellen entfernen. Jeweils einen Erregerstift mit einer der zwei kleinen Erregerscheiben verbinden und den Erregerstift an den Halteclips an den Erregerarmen befestigen (vgl. Abb. 4.5). Den Vibrationsgenerator so justieren, dass die zwei kleinen Erregerscheiben die Wasseroberfläche nur ganz leicht berühren. Den Versuch analog zu dem Versuch mit den zwei Punktquellen durchführen. Die Amplitude nach Bedarf verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.

Das durch die Interferenz der von den zwei kleinen Erregerscheiben erzeugten Wellenfronten entstehende Wellenmuster skizzieren.

Die zwei kleinen Erregerscheiben durch die zwei großen Erregerscheiben ersetzen und den Versuch erneut durchführen.

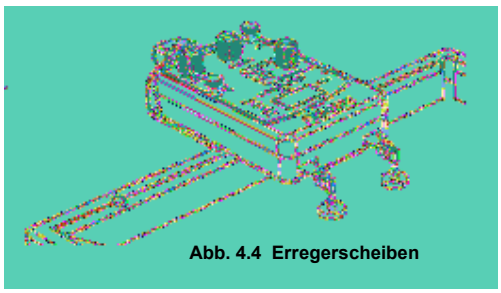


Abb. 4.4 Erregerscheiben

Versuch 5: Abbildung eines Objekts am Planspiegel

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Langes Beugungsobjekt	Punktförmiger Wellenerreger
Lineal	

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Papier (ca. 40 cm x 40 cm)
90-cm Stativstab	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es, den Zusammenhang zwischen dem Lagepunkt des durch einen Planspiegel erzeugten Bildes und dem Lagepunkt des Objekts aufzuzeigen.

Theorie

Bei der Reflexion der Wellenfronten an der Oberfläche eines Planspiegels ist der Einfallswinkel des Strahls gleich dem Reflexionswinkel des Strahls. Befindet sich ein Objekt vor dem Planspiegel, so entsteht das dazugehörige Bild in einem gewissen Abstand hinter dem Spiegel. Dieser Abstand ist der so genannte Bildabstand. Der Abstand des Objekts zum Spiegel ist der so genannte Objektabstand. Mit Hilfe des Zusammenhangs zwischen dem Winkel der einfallenden Strahlen und dem Winkel der reflektierten Strahlen lässt sich der Zusammenhang zwischen dem Bildabstand und dem Objektabstand bestimmen. Vgl. Abb. 5.1.

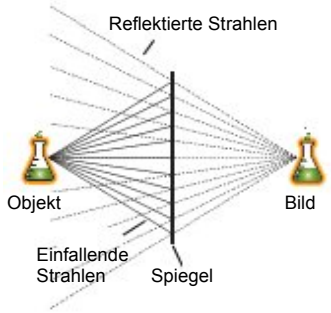


Abb. 5.1 Planspiegel

Versuchsaufbau

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten.
3. Das lange gerade Beugungsobjekt in die Mitte der Wellenwanne setzen und etwa 800 ml Wasser einfüllen (bzw. soviel Wasser einfüllen, dass das lange gerade Beugungsobjekt etwa zur Hälfte im Wasser liegt).
4. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren. Den Vibrationsgenerator so justieren, dass sich ein Erregerarm über der Mittellinie der Wellenwanne befindet.
5. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
6. Einen einzelnen punktförmigen Wellenerreger an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des punktförmigen Wellenerregers die Wasseroberfläche ganz leicht berührt.
7. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die mit Hilfe der Lichtquelle darauf projizierten Wellen nachzeichnen kann.

8. Das lange Beugungsobjekt etwa in der Wannenmitte so anordnen, dass die Mitte des Beugungsobjekts eine Linie mit dem punktförmigern Wellenerreger bildet. Das Beugungsobjekt dabei parallel zur Vorderseite des Vibrationsgenerators legen (vgl. Abb. 5.2).

Versuchsdurchführung

1. Vibrationsgenerator und Lichtquelle einschalten. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz [des Vibrationsgenerators] auf 20 Hz und die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum einstellen. Die Amplitude verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.
2. Den Umriss des punktförmigen Wellen-erregers und des langen Beugungsobjekts auf dem Papier unter der Wellenwanne nachzeichnen.

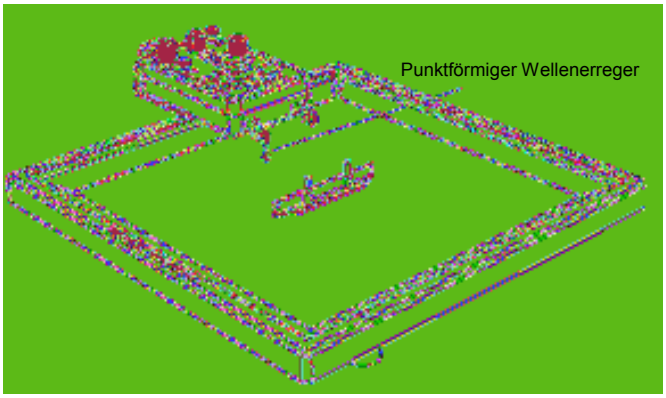


Abb. 5.2 Anordnung des Beugungsobjektes

3. Die Wellenfronten und die Strahlen skizzieren, die die Ausbreitungsrichtung der Wellen darstellen, die vom Wellenerreger ausgehen und vom langen Beugungsobjekt reflektiert werden.
4. Den Abstand vom punktförmigen Wellenerreger zum langen Beugungsobjekt auf dem Papier messen und dokumentieren.
5. Auf dem Papier ein Lineal-Ende auf einen beliebigen Punkt der zum punktförmigen Wellenerreger hinzeigenden Umrisslinie des langen Beugungsobjekts legen. Das Lineal so verschieben, dass es die Fronten der reflektierten kreisförmigen Wellen im rechten Winkel schneidet. Eine Linie entlang dem Lineal ziehen; sie gibt den Strahl für die Ausbreitungsrichtung der reflektierten Wellenfronten an.
6. Das Lineal-Ende an einen anderen Punkt auf der Umrisslinie des langen Beugungsobjekts anlegen. Das Lineal wieder so verschieben, dass es die Fronten der reflektierten kreisförmigen Wellen im rechten Winkel schneidet. Eine weitere Linie entlang dem Lineal ziehen; sie gibt den Strahl für die Ausbreitungsrichtung der reflektierten Wellenfronten von diesem Punkt aus an.
7. Vibrationsgenerator ausschalten.
8. Die zwei Linien mit dem Lineal verlängern, so dass sie sich schneiden. Ihr Schnittpunkt ist der Mittelpunkt der reflektierten kreisförmigen Wellen. Er entspricht dem Bildpunkt.
9. Den senkrechten Abstand zwischen der Vorderseite des Beugungsobjekts und dem Bildpunkt messen und dokumentieren.

Fragen

1. Wo befindet sich der Bildpunkt im Verhältnis zum langem Beugungsobjekt und dem punktförmigen Wellenerreger?
2. Wie verhält sich der Abstand zum Bildpunkt im Vergleich zum Abstand zwischen dem punktförmigen Wellenerreger und dem langen Beugungsobjekt?

Versuch 6: Wellengeschwindigkeit

Ausrüstung aus dem Wellenwannenset

Wellenwanne	Vibrationsgenerator und Lichtquelle
Erreger für ebene Wellen	Lineal

Weitere Ausrüstungsgegenstände und Materialien

Großer Stativfuß	Papier (ca. 40 cm x 40 cm)
90-cm Stativstab	

Versuchsziel

Ziel des Versuchs ist es, den Zusammenhang zwischen der Wellengeschwindigkeit und der Frequenz ($v = f \lambda$, mit v = Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, f = Frequenz und λ = Wellenlänge) sowie zwischen der Wellengeschwindigkeit und der Wassertiefe aufzuzeigen.

Theorie

Für Transversalwellen gilt: Als Wellenlänge wird der Abstand zweier Punkte gleicher Phase einer Welle, zum Beispiel der Abstand zweier benachbarter Wellenberge, bezeichnet. Mit Frequenz bezeichnet man die Anzahl der Wellen innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Die Frequenz ist der Kehrwert der Periode, der Zeitdauer einer Welle. Da die Durchschnittsgeschwindigkeit gleich Strecke geteilt durch Zeit ist, ist die Wellengeschwindigkeit gleich Wellenlänge geteilt durch Periode bzw. Wellenlänge mal Frequenz (dem Kehrwert der Periode). Vgl. Abb. 6.1.

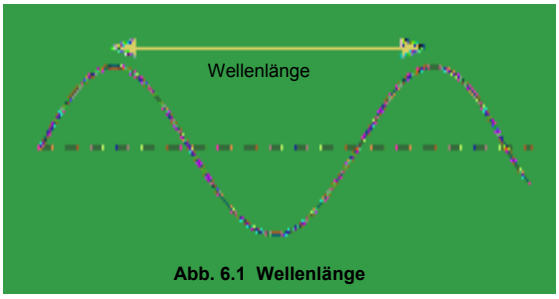


Abb. 6.1 Wellenlänge

Versuchsaufbau: Wellengeschwindigkeit

1. Lichtquelle am Stativstab am hinteren Rand der Wellenwanne befestigen.
2. Etwas Wasser in die Wellenwanne füllen und sie anschließend mit Hilfe der Nivellierschrauben an den Wannenfüßen waagerecht ausrichten. Etwa 600 bis 800 ml Wasser einfüllen.
3. Den Vibrationsgenerator am Stativstab mit Fuß befestigen und über dem Mittelpunkt einer Seite der Wellenwanne platzieren.

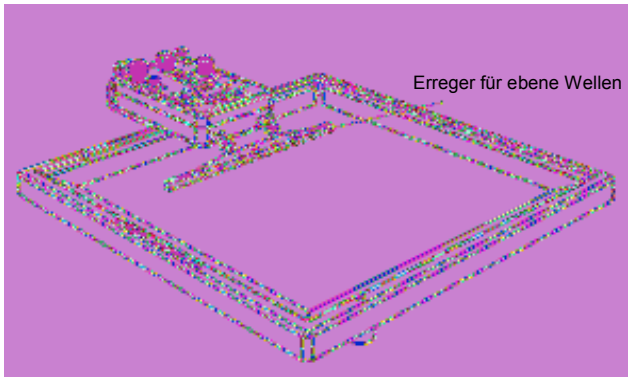


Abb. 6.2 Erreger für ebene Wellen

4. Lichtquelle an den Vibrationsgenerator sowie den Vibrationsgenerator an den Netzadapter anschließen.
5. Den Erreger für ebene Wellen an den Erregerarmen befestigen. Den Vibrationsgenerator so lange justieren, bis die Unterseite des Erregers für ebene Wellen die Wasseroberfläche ganz leicht berührt. Vgl. Abb. 6.2.
6. Ein Blatt Papier direkt unter die Wellenwanne legen, damit man die Abstände zwischen den Wellenfronten messen kann.

Versuchsdurchführung: Wellengeschwindigkeit und Frequenz

1. Vibrationsgenerator und Lichtquelle einschalten. Die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Die Frequenz [des Vibrationsgenerators] auf 5 Hz und die Amplitude auf etwas weniger als halbes Maximum einstellen. Die Amplitude nach Bedarf verändern, um ein klares Wellenmuster zu erzeugen.
2. Die Wellenfronten sind als helle und dunkle Streifen zu erkennen, die entstehen, wenn das Licht die Wellenberge und -täler durchdringt. Die Strecke von fünf Wellenlängen messen und dokumentieren.
3. Andere Frequenz einstellen und wieder die Strecke von fünf Wellenlängen messen. Messung für fünf verschiedene Frequenzen durchführen.
4. Die Wellenlänge für jede der Frequenzen berechnen.
5. Anhand der Wellenlänge und der Frequenz die Wellengeschwindigkeiten berechnen.
6. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Wellen berechnen.

Tabelle 6.1:

Frequenz (Hz)	**5 Hz**				
fünf λ (m)					
λ (m)					
v (m/s)					

Frage

1. Ist die Wellengeschwindigkeit bei den gewählten Frequenzen in etwa konstant?

Versuchsdurchführung: Wellengeschwindigkeit und Wassertiefe

1. Die Frequenz des Vibrationsgenerators auf 5 Hz einstellen. Wie im vorherigen Versuch die Strecke von fünf Wellenlängen messen und dokumentieren.
2. Wasser ablassen bzw. einfüllen, bis die Wassertiefe 7 mm beträgt. Den Vibrationsgenerator so justieren, dass der Erreger für ebene Wellen die Wasseroberfläche nur ganz leicht berührt. Wie vorher die Strecke von fünf Wellenlängen messen und dokumentieren.
3. Den Versuch mit einer Wassertiefe von 5 mm und von 2 mm durchführen.
4. Wellenlänge und Wellengeschwindigkeit für jede der Wassertiefen berechnen.

Tabelle 6.2:

Wassertiefe (mm)	**fünf λ (m)**	**λ (m)**	**Wellengeschwindigkeit (m/s)**
10			
7			
5			
2			

Frage

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen und der Wassertiefe?

Dopplereffekt

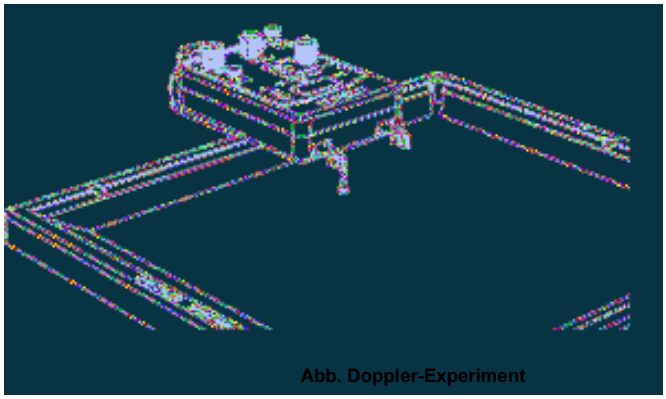


Abb. Doppler-Experiment

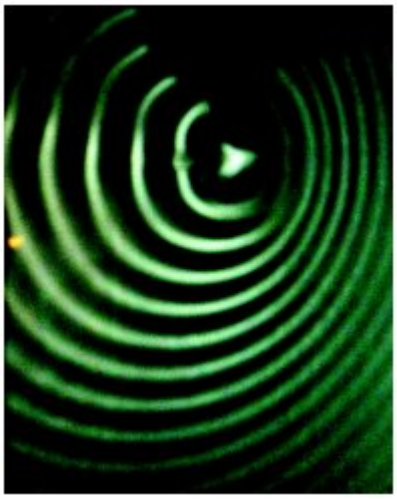
Der Dopplereffekt tritt auf, wenn sich eine Wellenquelle und ein Beobachter relativ zueinander bewegen, sich also einander nähern oder voneinander entfernen. Nähern sich Beobachter und Quelle einander, so wird die Wellenlänge kürzer, entfernen sie sich von einander, wird die Wellenlänge länger.

Der Dopplereffekt kann mit der Wellenwanne vorgeführt werden. Hierzu den Vibrationsgenerator und die Wellenwanne wie bei den vorherigen Versuchen anordnen. Die Lichtquelle am Stativstab befestigen und an den Vibrationsgenerator anschließen. Einen punktförmigen Wellenerreger an einem der Erregerarme des Vibrationsgenerators befestigen. Den Vibrationsgenerator anschalten. Mit der Standardfrequenz von 20 Hz beginnen. Die Amplitude auf etwa halbes Maximum einstellen und die Lichtquelle auf Stroboskop-Betrieb schalten. Siehe Abbildung.

Durch Bewegen des Vibrationsgenerators mit einer konstanten Geschwindigkeit lässt sich der Dopplereffekt, wie im Bild dargestellt, beobachten. Es bedarf einiger Versuche, bis die richtige Geschwindigkeit für eine bestimmte Frequenz gefunden ist.

Der Vibrationsgenerator kann beispielsweise dadurch bewegt werden, dass er um seinen Stativstab geschwenkt wird. Hierzu den Stativstab mit einer Hand knapp unter der Befestigungsklemme festhalten. Die Klemme etwas lösen und mit dem Daumen von unten dagegen drücken, so dass der Vibrationsgenerator nicht am Stativstab herunterrutscht. Den Vibrationsgenerator mit der anderen Hand hin und her schwenken. Die Länge der Wellen vor dem sich bewegenden Wellenerreger wird kürzer; die Länge der Wellen hinter dem sich bewegenden Wellenerreger wird länger.

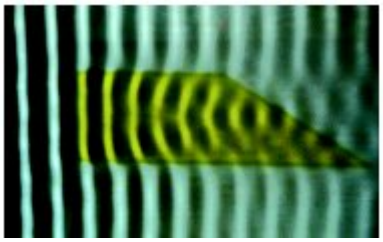
Abb. Doppler-Experiment



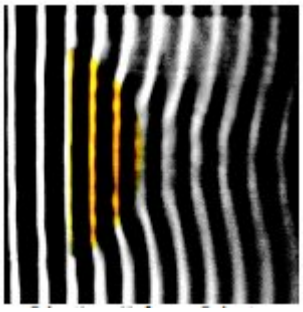
Bewegungsrichtung ⟶

Musterbeispiele

Die folgenden Bilder zeigen Musterbeispiele aus den Brechungsversuchen.

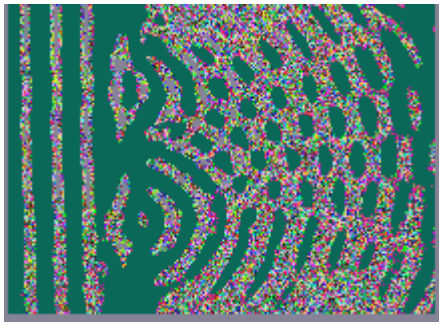


Brechung am trapezförmigen Körper



Brechung am konvexen Körper

Das folgende Bild zeigt ein Musterbeispiel aus dem Beugungsversuch am Doppelspalt.



Das folgende Bild zeigt ein Musterbeispiel aus dem Interferenzversuch mit zwei Punktquellen.

Der Text wurde vom Amerikanischen ins Deutsche übersetzt. Alle Rechte liegen bei PASCO / Conatex-Didactic. Vervielfältigung, Druck - auch auszugsweise ist nur mit Genehmigung von Conatex Didactic erlaubt.

Eine nichtkommerzielle Nutzung im Rahmen einer Unterrichtsvorbereitung / -Durchführung ist gestattet.

Autoren des Originaltextes: Ann Hanks
Jon Hanks
Dave Griffith